UEBER DIE

INTERFERENZSTREIFEN IN ZWEI GLEICH DICKEN PLATTEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VON DER

PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

GENEHMIGT

UND

NEBST DEN BEIGEFÜGTEN THESEN

ÖFFENTLICH ZU VERTHEIDIGEN

AM 12. MAI 1892

VON

ERICH SCHMIDT

AUS BERLIN.

OPPONENTEN:

HERR CAND. PHIL. R. FUNK.
HERR CAND. PHIL. E. RÖBER.
HERR CAND. THEOL. P. FELGENTREU.

MIT EINER TAFEL.

LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH.

1892.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Einleitung.

Im 24. Bande von Wiedemann's Annalen[1]) beschreibt Hr. Lummer zwei von ihm neu beobachtete Systeme von Interferenzstreifen. Dieselben erscheinen, wenn man zwei gleich dicke planparallele Platten unter einem beliebigen Winkel gegen einander neigt und in der Richtung des Strahles beobachtet, der auf der Ebene senkrecht steht, welche den Winkel zwischen den beiden Platten halbirt, so dass die Einfallsebene an der ersten Platte zusammenfällt mit derjenigen an der zweiten. Beim ersten Systeme erblickt das auf unendliche Entfernung accommodirte Auge bei kleinen Plattenwinkeln um diesen sogenannten symmetrischen Strahl als Mittelstrahl eine Anzahl von concentrischen Kreisen angeordnet, die bei grösserem Plattenwinkel in Ellipsen übergehen. Diese werden immer flacher, bis sie bei einem Winkel von ca. 98^0 als nahezu parallele Linien verlaufen. Bei noch weiterer Vergrösserung des Winkels gehen die Linien in Hyperbeln über. Die Curven dieses ersten Systems sind nur bei schwach leuchtender Natriumflamme und sehr guter Accommodation des Auges zu beobachten. Viel schärfer und klarer tritt das zweite System von Interferenzstreifen hervor. Dies ist mit einem auf unendlich eingestellten Fernrohre sowohl bei homogenem als auch bei gemischtem Lichte sichtbar und besteht in parallelen, äquidistanten hellen und dunklen Streifen, welche der Schnittkante der beiden Plattenebenen parallel verlaufen. Bei weissem Lichte sind dieselben gefärbt, und ihr weisser Mittelstreifen entsteht dann genau dort, wo der symmetrische Strahl das Auge trifft.

Was zunächst die zweite Erscheinung anbetrifft, so kommt

1) O. Lummer, Wied. Ann. **24.** p. 417—439. 1885.

Hr. Lummer in seiner Theorie für den Winkelabstand ϱ_p des $p$ten Streifens vom Mittelstreifen auf folgende Gleichung:

$$\sin \varrho_p = \frac{(2p-1)\lambda \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}}{4 d \sin 2\varphi}$$

In dieser Formel bedeuten d die Dicke und n den Brechungsexponenten der Platten, λ die Wellenlänge des Lichtes, bei welchem beobachtet wird und 2φ den Winkel, den die Platten mit einander bilden. Für den Abstand ϱ irgend zweier benachbarten Streifen besteht also die Formel

$$\varrho = \frac{\lambda \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi}}{2 d \sin 2\varphi},$$

die bei sehr kleinen Winkeln übergeht in:

$$\varrho = \frac{n\lambda}{4 d \varphi}.$$

Dies ist derselbe Ausdruck, den Brewster[1]) für seine bekannten Interferenzstreifen aufgestellt hat, die auch im Grunde genommen identisch mit den Lummer'schen sind.

Hr. Blasius hat nun in einer vor kurzem veröffentlichten Arbeit[2]) diese Interferenzerscheinung in einer weit allgemeineren Weise theoretisch erörtert und ist dabei zu folgenden Resultaten gelangt.

Von der Lummer'schen Beobachtungsart ausgehend, dreht Hr. Blasius, während die eine Platte feststeht, die andere derart, dass die Einfallswinkel des in's Auge gelangenden Strahles an den beiden Platten stets dieselben bleiben wie in der Ausgangsstellung. Hat der Drehungswinkel eine Grösse von 180° erreicht, so stehen die Platten parallel zu einander. Am leichtesten wird diese Beobachtungsweise ausführbar durch die Anwendung eines Nörremberg'schen Polarisationsapparates, da hier die Anordnung und Drehung der Platten genau der Methode von Hrn. Blasius entspricht. Bei der Beobachtung wird an der Stellung des Fernrohrs nichts geändert, und nur die Lichtquelle muss entsprechend verschoben werden, wenn man das Gesichtsfeld stets hell erhalten will. Während der Drehung bleiben nun die Interferenz-

1) Brewster, Edinb. Trans. **7.** 1817.
2) Eug. Blasius, Wied. Ann. **45.** p. 316 u. ff. 1892.

streifen deutlich sichtbar, nehmen aber, da die Schnittkante der beiden Platten sich selbst mitdreht, ebenfalls an der Drehung Theil, indem sie hierbei stets breiter und breiter werden. Ist die Parallelstellung nahezu erreicht, so haben die Streifen eine Drehung von beinahe 90^0 ausgeführt und an Breite derart zugenommen, dass man sie bereits mit unbewaffnetem Auge erkennen kann.

Entwickelt man eine Formel für diese Streifen, so muss offenbar auch der Drehungswinkel berücksichtigt werden. Hr. Blasius, der diesen Winkel das Azimuth nennt und ihn mit 2χ bezeichnet, berechnet auf ähnlichem Wege wie Hr. Lummer für den Winkelabstand $\mathfrak{r}$ des $p$ten Streifens vom Mittelstreifen folgenden Werth.

$$\sin \mathfrak{r} = \frac{(2p - 1)\lambda \sqrt{n^2 - \sin^2 \mathfrak{c}}}{4 d \sin 2\mathfrak{c} \sin \chi}.$$

Hierbei ist $2\mathfrak{c}$ der Winkel, den die beiden Platten in der Ausgangsstellung, die wir kurzweg die symmetrische Stellung nennen wollen, bilden. Die Formel geht für $2\chi = 180^0$ in die Lummer'sche Gleichung über. Es muss also der Winkel 2χ von der Parallelstellung als Nullstellung aus gerechnet werden. Wie ferner aus der Formel ersichtlich, werden die Streifen mit abnehmendem χ breiter und breiter und sind bei $\chi = 0^0$ d. h. in der Parallelstellung unendlich breit.

Hr. Blasius gelangt nun aber auf einem noch viel einfacheren Wege zu derselben Gleichung. Betrachtet man nämlich die Interferenzstreifen, die eine Platte für sich durch Reflexion an der Vorder- und Rückseite liefert, die bereits von Mascart[1]) und Lummer[2]) genauer behandelt sind, so kann man die zuletzt erörterten Interferenzstreifen als ein Streifensystem ansehen, bei dem der Gangunterschied der interferirenden Strahlen gleich der Differenz der Gangunterschiede ist, die durch die Reflexion an jeder einzelnen Platte entstanden sind. Hr. Blasius nennt daher diese Interferenzerscheinung das Differenzstreifensystem der beiden Platten. Diese neue Betrachtungsweise ermöglicht es nun, auch bei dem ersten Streifensystem, das entsprechend dem Differenz-

1) Mascart, Ann. de Chim. et de Phys. (4). **23.** p. 116—156. 1871.
2) O. Lummer, Wied. Ann. **23.** p. 49 ff. 1884.

system das Summensystem der beiden Platten genannt wird, eine einfache Gleichung für den Abstand der Streifen aufzustellen. Sie lautet:

$$\sin \mathfrak{r} = \frac{(2p - 1)\lambda \sqrt{n^2 - \sin^2 \mathfrak{c}}}{4 d \sin 2\mathfrak{c} \cos \chi}$$

Die Ableitung dieser und der ersten Formel nach der neuen Methode wollen wir hier nicht noch einmal entwickeln, da dieselbe in der erwähnten Arbeit ausführlich behandelt ist. Nur eins sei noch an dieser Stelle hervorgehoben, dass es infolge der Vereinfachung der Theorie möglich geworden ist, auch für ungleich dicke Platten entsprechende Formeln zu gewinnen.

Da Hr. Blasius in seiner Abhandlung eine Bestätigung der oben angeführten Formeln durch das Experiment noch nicht gegeben hat, so habe ich versucht, den experimentellen Beweis derselben durchzuführen.

Die Beobachtungen, die ich im hiesigen physikalischen Institute angestellt habe, haben mich zu den Ergebnissen geführt, die den Gegenstand dieser Arbeit bilden sollen.

Bevor ich indessen zu diesem meinem Thema komme, drängt es mich, auch an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Hrn. Professor Dr. Kundt für das meiner Arbeit gütigst gewidmete Interesse sowie für seine hochgeschätzten Rathschläge meinen ehrerbietigsten Dank abzustatten. Auch bin ich Hrn. Dr. Blasius, der die Anregung zu dieser Arbeit gegeben und mich während derselben durch so manchen werthvollen Fingerzeig unterstützt hat, zu grossem Danke verpflichtet.

§ 1. Beschreibung der Instrumente.

Wie schon in der Einleitung angedeutet wurde, lässt sich zur Veranschaulichung der Methode des Hrn. Blasius mit Nutzen ein Nörremberg'scher Polarisationsapparat verwenden. Indessen genügt derselbe nicht, sobald es auf eine genaue Beobachtung der Streifen und vor allem auf eine Messung des Plattenwinkels sowie des Azimuths ankommt. Es war daher nothwendig, für die experimentelle Untersuchung die Instrumente so zu wählen, dass sie gestatteten, sowohl die vorgeschriebene Drehung der einen Platte genau zu messen, als auch die Grösse des Plattenwinkels $2\mathfrak{c}$ zu bestimmen.

Um den ersten Zweck zu erreichen, wurde ein Goniometer mit senkrecht stehendem Theilkreis gewählt, wie man es benutzt zur Messung von Krystallwinkeln. Fig. I a (s. Taf.) zeigt den Apparat nach Beseitigung des für unseren Zweck überflüssigen Fernrohrs und Kollimatorrohrs. Der um die Axe BC drehbare Kreis A ist in Intervalle von je 20 Bogenminuten getheilt. Mit Hülfe des Nonius, der in der Figur nicht sichtbar ist, vermag man noch halbe Bogenminuten abzulesen. D und E sind zwei durch Mikrometerschrauben verschiebbare Kreuzschlitten, mittelst deren der vordere Aufsatz mit der Platte K parallel zur Kreisebene verstellt werden kann. Die Schrauben F und G dienen dazu, die Platte K aus ihrer senkrechten Stellung zur Drehungsaxe BC um kleine Winkel zu neigen. Eine Drehung der Platte um grössere Winkel lässt das bei L angebrachte Gelenk zu. Die Glasplatte K wird an ihrer geschwärzten Unterlage H durch Federn und eingeklemmte Korkstückchen festgehalten. Wie sich bei der Beobachtung ergab, muss man hierbei sein Augenmerk darauf richten, dass durchaus keine Durchbiegung der Platte stattfindet, da hierdurch sich natürlich Fehler ergeben würden. Zur Vermeidung derselben wurde auch von einem Festkitten der Glasplatte auf der Unterlage abgesehen. Um übrigens eine Drehung des ganzen Apparates um seine verticale Axe zu ermöglichen, war derselbe auf zwei Drehscheiben M und N aufgestellt, deren obere um einen Zapfen der unteren drehbar war.

Der Herstellung des zweiten Apparates, der dazu dienen sollte, den Plattenwinkel zu messen, ging folgende Betrachtung voraus.

Es seien in Fig. 1. I und II die beiden Platten in der symmetrischen Stellung von oben gesehen. Die Zeichenebene sei die Ebene des symmetrischen Strahles. A stelle die Lichtquelle, D das Fernrohr und $ABCD$ den Gang des symmetrischen Strahles dar. CE sei die Plattennormale der Platte I und FG die

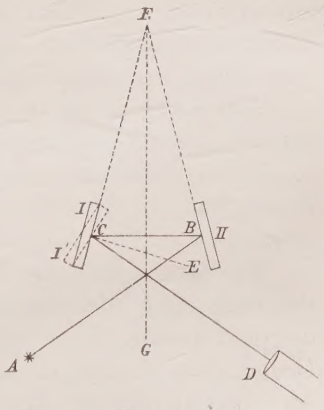

Fig. 1.

Winkelhalbirende des Plattenwinkels CFB. Es ist dann leicht ersichtlich, dass der Winkel

$$DCE = ECB = CFG = \mathfrak{c}$$

ist. Dreht man jetzt Platte I um diesen Winkel $\mathfrak{c}$ in die Stellung I′, so wird die Normale CE mit dem Strahl CD zusammenfallen, oder mit anderen Worten, die Platte I wird senkrecht zur Fernrohraxe stehen. Ist also in der Stellung I bei gemischtem Lichte das Fernrohr so eingestellt, dass der senkrechte Faden des Fadenkreuzes in den weissen Mittelstreifen fällt, d. h., dass der symmetrische Strahl mit der Richtung der optischen Axe des Fernrohrs übereinstimmt, so wird bei einer Drehung der Platte I in die Senkrechtstellung zur Fernrohraxe der Drehungswinkel gleich dem Winkel $\mathfrak{c}$ sein. Wenn daher die Platte I senkrecht auf einem Theilkreise befestigt ist, so wird es hierdurch möglich, den Winkel $\mathfrak{c}$ auf der Kreistheilung abzulesen. Diesem Zwecke diente ein Theilkreis mit verticaler Axe, welcher in Fig. I b (s. Taf.) dargestellt ist. In seinem Centrum war senkrecht zu seiner Ebene ein ca. 1 cm dicker Messingstab A eingeschraubt, der den Ansatz B mit der zweiten Platte trug. Um für die genaue Senkrechtstellung zur Theilkreisebene ein geringes Neigen der Platte zu ermöglichen, wurden unter die Befestigungsschrauben a, b, c noch kleine Spiralfedern eingesetzt. Der Theilkreis C gestattete mit Hülfe des durch Mikrometerverschraubung verstellbaren Nonius das Ablesen von Minuten.

Zur Beobachtung der Streifen wurde ein Fernrohr (Fig. I c) benutzt, welches auf einem Holzstativ um eine Verticalaxe bei A drehbar befestigt war. Mit Hülfe der Schraube B war es möglich, ein Senken oder Heben der Fernrohraxe vorzunehmen.

Es kamen bei der Beobachtung zwei Oculare zur Verwendung. Zur Messung des Winkels $2\,\mathfrak{c}$ sowie zur Justirung der Instrumente diente ein Gauss'sches Ocular. Das zweite Ocular, das in Fig. II in der Seitenansicht dargestellt ist, war folgendermassen eingerichtet. Die Röhre A wurde mit mit ihrem Schraubengewinde a in das Fernrohr eingeschraubt. In dieser ersten Röhre drehte sich eine zweite B, an der der Kasten C mit dem Theilkreise D und der Ocularlupe E

befestigt war. Die Drehung der Röhre *B* in der Röhre *A* ermöglichte mit Hülfe des auf *A* bei *b* befestigten Zeigers *F* die Drehung der Streifen an dem in Grade getheilten Kreise *D* abzulesen. Der Kasten *C* endlich enthielt das durch eine Mikrometerschraube verschiebbare Fadenkreuz.

Die Trommel dieser Schraube war in 100 Theile getheilt, die indessen, um sie für die Beobachtung brauchbar zu machen, zunächst auf Winkelwerthe für eine unendliche Entfernung reducirt werden mussten. Da das Fernrohr einem Spectrometer entnommen war, so konnte ich die Auswerthung der Trommel leicht auf folgende Weise bewirken.

Nach genauer Justirung des Spectrometers brachte ich das Fadenkreuz des auf unendlich eingestellten Fernrohrs mit dem beleuchteten Spalt des Kollimators zur Deckung. War das Bild desselben im Fernrohr scharf sichtbar, so las ich mit Hülfe eines Mikroskops die Stellung des Fernrohrs am Theilkreise ab. Nun verschob ich das Fernrohr so, dass der Spalt möglichst weit im Gesichtsfelde weiterrückte, und brachte das Fadenkreuz durch Drehung der Mikrometerschraube wieder zur Deckung mit dem Spaltbilde. Aus der Anzahl der Trommelumdrehungen und der Verschiebung des Fernrohrs konnte dann der Werth der Mikrometertheilung leicht ermittelt werden. Die Messung an verschiedenen Stellen des Theilkreises vorzunehmen, war bei dem benutzten Spectrometer nicht möglich. Um aber wenigstens die Genauigkeit der Theilung zu bestimmen, verglich ich mit Hülfe des Ablesemikroskops an 10 Stellen des Theilkreises ein Intervall von 20 Minuten. Da die Theilung des Kreises von 5 zu 5 Bogenminuten ausgeführt war, und das Ablesemikroskop durch einen verschiebbaren Faden eine Einstellung bis auf eine Bogensecunde genau ermöglichte, so konnte diese Controllmessung sehr scharf vorgenommen werden. Es ergab sich hierbei, dass der Mittelwerth aus den 10 Beobachtungsreihen nur um ca. 0,03 Proc. von dem Werth der Stelle abwich, an der die Auswerthung der Mikrometertheilung stattgefunden hatte. Auch differirten die Messungen unter einander nur etwa um 0,2 Proc. Legte man den Mittelwerth zu Grunde, so wurde aus drei Beobachtungsreihen von je 10 Ablesungen die Grösse einer Trommelumdrehung zu 2,690′ gefunden. Diese Bestimmung er-

möglichte es nun, den Winkelabstand der Interferenzstreifen zu messen.

Zum Zwecke der genauen Beobachtung war es indessen zunächst noch nöthig, eine richtige und sorgfältige Justirung der Instrumente vorzunehmen.

§ 2. Justirung der Instrumente.

Um die Art der Justirung klarzustellen, sei noch einmal auf die Aufgabe hingewiesen, die gelöst werden soll. Zur Erleichterung diene Fig. 2. Dieselbe stellt wiederum die beiden Platten in der symmetrischen Stellung von oben gesehen dar, und zwar Platte I an dem Horizontalkreise C (Fig. Ib), Platte II am Verticalkreise A (Fig. Ia) befestigt. Die Aufgabe erfordert nun, dass die Drehung der Platte II genau so erfolgt, wie im Nörremberg'schen Polarisationsapparat. Ist daher in A eine Lichtquelle vorhanden, befindet sich in D das Auge oder Fernrohr, und stellt $ABCD$ den Strahlengang dar, wie ihn Hr. Lummer vorschreibt, d. h. also den symmetrischen Strahl, so muss die Platte II nach der Theorie von Hrn. Blasius so um eine Axe BE gedreht werden, dass die Einfallswinkel der Strahlen CD und AB stets dieselben bleiben. Hierbei führt der Strahl $ABCD$ in der Arbeit des Hrn. Blasius die Bezeichnung Centralstrahl.

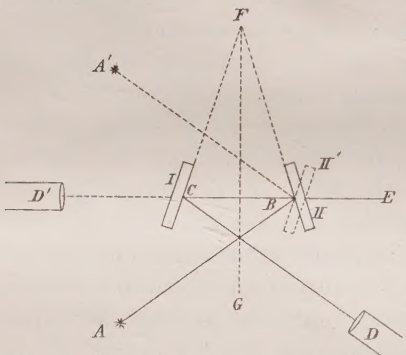

Fig. 2.

An der Drehung hat natürlich die Lichtquelle A auch Theil zu nehmen, da sonst im Fernrohr D das Licht verschwinden würde.

Es sei nun eine Drehung der Platte II um 180° ausgeführt, so dass dieselbe parallel zur Platte I steht, sich also in der Stellung II′ befindet. Die Lage des Strahles BC darf sich hierbei nicht geändert haben und nur die Lichtquelle A wird jetzt nach A' gerückt sein. Es ist klar, dass bei dieser

Drehung die Axe, um welche II gedreht wird, in der Verlängerung des Centralstrahles BC liegen muss. In der symmetrischen Stellung wird also diese Axe in die Richtung des symmetrischsn Strahles fallen, d. h. senkrecht stehen auf der Winkelhalbirenden FG des Plattenwinkels BFC.

Denkt man sich jetzt die Platte II, ohne die Lage der Axe BE zu ändern, und ebenso die Platte I parallel gestellt zu der Ebene, die gebildet ist durch die Winkelhalbirende FG und die Schnittkante der beiden Platten, so steht die Drehungsaxe BE sowohl senkrecht auf FG als auch auf der Platte I und der Platte II. Sind also die Platten parallel gestellt, während zu gleicher Zeit Platte II senkrecht zur Drehungsaxe des Goniometers steht, so hat diese Axe die vorgeschriebene Lage von BE.

Damit aber die Drehung der Platte I zum Zwecke der Parallelstellung richtig erfolgt, muss die Drehungaxe von I parallel der Schnittkante der beiden Platten verlaufen, d. h. es muss die Ebene des Horizontalkreises senkrecht stehen zur Schnittkante der Platten und also auch zur Drehungsaxe der Platte I.

Aus diesen Betrachtungen ergab sich folgende Justirung der Apparate.

Zuerst wurde die Platte II mit Hülfe eines Fernrohrs mit Gauss'schem Ocular in bekannter Weise senkrecht zur Fernrohraxe eingestellt. Nun kam es darauf an, auch die Goniometeraxe in dieselbe Richtung zu bringen. Zu diesem Zwecke drehte ich die Goniometeraxe um einen beliebigen Winkel und corrigirte die Verschiebung des reflectirten Fadenkreuzes zur Hälfte an den Schrauben F und G (Fig. 1a), zur Hälfte am Fernrohr. Durch dies Verfahren, welches mehrmals wiederholt werden musste, gelang es mir das reflectirte Fadenkreuz auch bei der Drehung der Platte um die Axe mit dem direct gesehenen zur Deckung zu bringen. Hierdurch war aber erreicht, dass die Drehungsaxe in die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs fiel, also ebenfalls senkrecht zur Platte II stand.

Die zweite Aufgabe der Justirung bestand darin, die Platte I senkrecht zum Horizontalkreis einzustellen. Da die Platte planparallel war, so konnte folgendes Verfahren eingeschlagen werden.

Es wurde wiederum mit dem Gauss'schen Ocular zunächst die Vorderseite der Platte senkrecht zur Fernrohraxe gestellt, darauf die Platte um 180° gedreht und nun ihre Rückseite, die durch einen Ausschnitt h (Fig. Ib) sichtbar war, beobachtet. War das reflectirte Fadenkreuz jetzt nicht mehr bedeckt von dem direct geschenen, so erfolgte die Correctur der Verschiebung zur Hälfte an den Schrauben a, b, c (Fig. Ib), zur Hälfte an der Stellschraube B (Fig. Ic) des Fernrohrs. Auf diese Weise war nach mehrmaliger Controlle auch die Platte I richtig justirt.

Nun wurde das Fernrohr an die Stelle D' (Fig. 2) gerückt und durch Drehung des Goniometers um seine Verticalaxe die Platte II, die, wie oben erläutert, senkrecht zur Axe $B\,E$ stand, senkrecht zur Fernrohraxe eingestellt. Dasselbe geschah dann mit der Platte I. Hierdurch war die parallele Stellung der Platten erreicht, zugleich aber auch die vorgeschriebene Lage der Axe $B\,E$.

Diese erste und wichtigste Justirung der Apparate war zwar nur einmal für die ganze Reihe der Beobachtungen nothwendig, wurde indessen mehrmals wiederholt, um zu verhüten, dass irgend welche Verschiebung der Apparate zu einer Fehlerquelle für die Beobachtung würde. Durch die gute Befestigung der Apparate am Beobachtungstisch war es übrigens gelungen, die etwa durch Erschütterungen vorkommenden Verrückungen auf ein Minimum zu reduciren, so dass sie von keinem wesentlichen Einfluss auf die Messungen waren.

Der richtigen Aufstellung der Apparate folgte nun die Einstellung der Platten. Sollten die Streifen bei einem bestimmten Plattenwinkel beobachtet werden, so war zur Prüfung der Formeln eine Messung des Azimuthwinkels nothwendig. Dieser musste auf die Parallelstellung als Nullstellung bezogen werden. Es war daher bei jedem Plattenwinkel zuerst die Parallelstellung als Ausgangsstellung zu fixiren.

Bei der Bestimmung dieser Nullstellung kamen zwei Methoden in Anwendung. Der ersten lag folgende Betrachtung zu Grunde. Nach der Theorie sind die Interferenzstreifen in der Parallelstellung unendlich breit, d. h. das Gesichtsfeld erscheint hier gleichmässig erhellt. Dies wäre wenigstens der Fall, wenn die Platten ganz genau planparallel wären. Da

indessen eine so grosse Vollkommenheit im Schliff sich nicht erreichen lässt, und stets gewisse, wenn auch verschwindend kleine prismatische Abweichungen, namentlich an den Rändern der Platte vorhanden sein werden, so sieht man bei gemischtem Lichte auch in dieser Stellung an den Grenzen des Gesichtsfeldes Spuren von Färbung auftreten. Dreht man nun die Platte II aus dieser Parallelstellung heraus um ihre horizontale Axe, so werden die Farben an den Rändern allmählich zunehmen, bis schliesslich die Interferenzstreifen wieder im Gesichtsfelde erscheinen. Hieraus ist ersichtlich, dass man die Parallelstellung der Platten finden kann, wenn man nur die Platte II derart einstellt, dass möglichst jede Spur von Färbung verschwunden ist.

Will man also die Erscheinung bei einem bestimmten Winkel 2c beobachten, so dreht man zunächst Platte I um die Hälfte dieses Winkels und bewirkt dann an dem Scharnier L (Fig. Ia) der Platte II ungefähr dieselbe Drehung, so dass die Platten nahezu parallel stehen. Nun beobachtet man am besten mit blossem Auge die Platte I und corrigirt, indem man die Lichtquelle entsprechend verschiebt, die Stellung von Platte II an den Schrauben G und H (Fig. Ia), bis auf Platte I Streifen sichtbar werden. Diese werden im allgemeinen noch nicht die grösstmöglichste Breite haben. Man dreht daher den Verticalkreis, bis dies erreicht ist, und bewirkt schliesslich die letzte Einstellung wiederum an den oben erwähnten Schrauben. Ist dies geschehen, so darf die Platte I nur an den Rändern noch verschwindende Spuren von Farben aufweisen. Liest man jetzt die Stellung des Verticalkreises am Nonius ab, so hat man hiermit die Parallelstellung der Platten gewonnen.

Obgleich nun bei der Beobachtung aus mehreren Reihen von je 10 Ablesungen das Mittel genommen wurde, so ergab sich doch, dass diese Methode nicht die wünschenswerthe Genauigkeit lieferte. Es wurde daher bei der weiteren Untersuchung eine zweite Bestimmungsweise der Ausgangsstellung in Anwendung gebracht, die man als eine Modification der ersten Methode betrachten kann. Hat man nämlich die Platten in der Parallelstellung und dreht nun die Platte II um einen gewissen Azimuthwinkel α, so ist es offenbar gleich-

gültig, ob man diese Drehung nach oben oder nach unten herum ausführt. Stets werden wieder die Interferenzstreifen erscheinen. Ist der Winkel α der gleiche nach oben wie nach unten, so wird auch die Breite der Streifen in beiden Stellungen von einander nicht abweichen. Bezeichnet man also den Azimuthwinkel nach oben hin mit positivem, nach unten mit negativem Vorzeichen, so kann man nach einer Messung der Streifen beim Winkel $+\alpha$ den Winkel $-\alpha$ finden, bei dem die Streifen dieselbe Breite haben. Hierdurch ist aber die Anfangstellung gegeben. Hat man nämlich die Streifen in einer beliebigen Azimuthstellung gemessen und sucht nun die Stellung auf, bei welcher sie die gleiche Breite besitzen, so ergiebt das Mittel der beiden Ablesungen am Verticalkreise unmittelbar die Nullstellung der Platten.

Die letzte noch erforderliche Justirung bleibt die richtige Einstellung des Fernrohrs. Diese ist in der Weise zu bewirken, dass die optische Axe mit der Richtung des symmetrischen Strahls zusammenfällt. Zu diesem Zwecke bringt man zunächst Platte II durch Drehung um die Horizontalaxe in die symmetrische Stellung zur Platte I und richtet auf letztere das Fernrohr mit Gauss'schem Ocular, nachdem man dasselbe vorher auf unendliche Entfernung eingestellt hat. Durch Verschiebung erreicht man bald, dass die Interferenzstreifen im Gesichtsfelde erscheinen. Hat man das Fadenkreuz des Fernrohrs auf den weissen Mittelstreifen eingestellt, so dreht man jetzt Platte I um ihre Verticalaxe, bis das gespiegelte Fadenkreuz im Fernrohr erscheint. Man bewirkt jetzt mit der am Horizontalkreise angebrachten Mikrometerschraube die feinere Einstellung der Platte I, so dass der senkrechte Faden des Kreuzes zur Deckung kommt, und hebt oder senkt dann durch die Schraube B (Fig. Ic) die Axe des Fernrohrs, bis das reflectirte Fadenkreuz sich völlig mit dem direct gesehenen deckt. Dass nun die richtige Stellung des Fernrohrs erreicht ist, ergiebt sich aus Folgendem.

Die Zeichenebene der Fig. 2 steht senkrecht zur Schnittkante der Platten in der symmetrischen Stellung und parallel zur Theilkreisebene des Horizontalkreises. Also liegt der symmetrische Strahl CD in einer Ebene, die senkrecht steht zur Platte I. In dieser Ebene liegt aber auch, wie leicht er-

sichtlich, nach der oben beschriebenen Einstellung die optische Axe des Fernrohrs, und da das Fadenkreuz auf den weissen Mittelstreifen eingestellt war, so fällt in der That der symmetrische Strahl CD in die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs.

Dreht man also jetzt Platte I wieder zurück bis zu ihrer symmetrischen Stellung zu II und verhindert durch genügende Befestigung ein Verschieben des Fernrohrs, so sind die Instrumente sämmtlich für die Messung justirt.

§ 3. Die Platten und die Bestimmung der Constanten.

Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Prüfung der Theorie bestand in der Beschaffung guter planparalleler Gläser. Da die Streifenbreite, wie man aus der Formel ersieht, umgekehrt proportional der Dicke der Platten ist, so durften dieselben eine nicht zu grosse Dicke besitzen, wenn die Streifen selbst im Fernrohr nicht zu eng werden sollten. Zwar betrug bei den Platten, welche Hr. Lummer benutzt hatte, die Dicke nur etwa $4^1/_2$ mm, indessen zeigte es sich, dass auch bei diesen schon die Streifen bei Plattenwinkeln von ca. 50^0 an so eng wurden, dass an eine Messung derselben selbst mit einem gut vergrössernden Fernrohre nicht mehr gedacht werden konnte. Es gelang mir indessen, allerdings erst nach vielen anderweiten vergeblichen Bemühungen, endlich aus der optischen Anstalt von Reinfelder und Hertel in München zwei planparallele Gläser zu erhalten, die nur 2,7 mm stark, etwa $3^1/_2$ cm breit und 4 cm lang waren und welche bei der Untersuchung sich als sehr gut planparallel geschliffen herausstellten. Nach der Lummer'schen Methode[1]), planparallele Platten zu untersuchen, ergab sich, dass eine merkliche prismatische Abweichung kaum nachweisbar war, während die Abweichung bei den Lummer'schen Gläsern immerhin etwa 2—3 Wellenlängen betrug. Doch wurden auch die letzteren Platten trotz der Abweichung zur Untersuchung herangezogen.

Zum Zweck der Prüfung der Formeln wurde nun die Breite der Streifen mit dem Fadenmikrometer gemessen, dann aus der Formel berechnet und die procentische Abweichung

1) O. Lummer, Wied. Ann. **23.** p. 49 ff. 1884.

bestimmt. Um aber den Werth aus der Gleichung berechnen zu können, war zunächst eine genaue Bestimmung der Constanten erforderlich. Es waren dies die Wellenlänge des Lichtes, die Dicke und der Brechungsexponent der Platten.

Für die Wellenlänge wurde, da Natriumlicht in Anwendung kam, als Werth in die Gleichung eingesetzt 0,0005892 mm.

Die Dicke der Platten wurde mit einem Interferenzsphärometer ermittelt, nachdem dies mit Hülfe zweier Quarzplättchen ausgewerthet war. Diese waren vorher in Bezug auf ihre Dicke einer genauen Messung auf der Theilmaschine unterzogen worden, so dass das Interferenzsphärometer nur als Zwischeninstrument diente, da es unvortheilhaft gewesen wäre, die Dicke der Platten direct auf der Theilmaschine zu bestimmen.

Die Werthe, welche erhalten wurden, waren die folgenden. Der Schraubenwerth der Theilmaschine, der mit einem Normalmeter verglichen war, wurde aus mehreren Reihen von je 10 Messungen an zwei Stellen bestimmt und zwar zu 0,9996 mm und zu 0,9985 mm. Die Dicke der Quarzplättchen betrug hiernach 4,022 mm und 2,025 mm. Somit ergab sich bei der Messung am Interferenzsphärometer für einen Schraubengang 0,8893 mm. Hiernach wurde die Dicke der Platten von Reinfelder und Hertel zu 2,733 mm und der Lummer'schen Gläser zu 4,435 mm gefunden.

Für die Bestimmung des Brechungsexponenten konnten verschiedene Methoden eingeschlagen werden. Die genauesten Resultate liefert selbstverständlich die Methode der minimalen Ablenkung mit Hülfe eines Prismas. Indessen war bei den Lummer'schen Platten ein Prisma aus demselben Glase nicht vorhanden, und nur bei den Gläsern von Reinfelder und Hertel konnte daher dies Verfahren angewendet werden. Es wurde ein Prisma aus der Platte ausgeschnitten, aus der auch die beiden Gläser entnommen waren. Da die Dicke der Platte nur 2,7 mm betrug, so konnte natürlich auch der brechende Winkel des Prismas nur klein sein. Die Grösse desselben betrug $13^0\,24'\,25''$. Die Grösse des Winkels der minimalen Ablenkung wurde zu $7^0\,10'\,33''$ gefunden. Es ergab sich also für n der Werth 1,5305.

Für die Lummer'schen Platten, bei denen diese Methode

nicht anwendbar war, wurde das Refractometer von Abbe benutzt, nachdem dasselbe mit Hülfe eines Normalplättchens justirt war. Es lieferte dies für n den Werth 1,5293. Auch die anderen Platten wurden ausserdem mit diesem Instrumente untersucht und ergab sich hierbei für n 1,5313, also nur eine Abweichung von 0,05 Proc. von der ersten Messung. Da jedoch die erste Methode eine grössere Genauigkeit verbürgt, so fand für die Berechnung bei den Platten von Reinfelder und Hertel nur der Werth aus der ersten Messung seine Verwendung.

Nach diesen vorbereitenden Bestimmungen gestaltete sich der Gang der Beobachtung folgendermassen.

§ 4. Gang der Beobachtung.

Zunächst wurde eine Messung des Plattenwinkels vorgenommen. Diese wiederholte sich, nachdem die Streifen bei verschiedenen Azimuthwinkeln beobachtet waren. Der zur Bestimmung des Plattenwinkels eingeschlagene Weg ist wohl durch die Betrachtung bei Beschreibung des zweiten Apparates im § 1 genügend erklärt.

Das Fernrohr war hiernach so eingestellt, dass der senkrechte Faden des Fadenkreuzes den weissen Nullstreifen der Erscheinung bedeckte. Die Platte am Horizontalkreise wurde darauf gedreht, bis das Spiegelbild des beleuchteten Fadenkreuzes mit dem direct gesehenen zur Deckung gelangte, bis also die Platte senkrecht zur Fernrohraxe eingestellt war. Die Differenz der beiden Ablesungen am Theilkreise ergab dann die Hälfte des Plattenwinkels.

Bevor ich jetzt zur Messung der Streifen übergehen konnte, war es nöthig, das Gauss'sche Ocular mit dem zweiten Oculare zu vertauschen. Hierbei musste grosse Sorgfalt darauf verwendet werden, dass beim Einschrauben in das Fernrohr das letztere keinerlei Verschiebung erlitt. Um dies nach Möglichkeit zu verhüten, war das Stativ des Fernrohrs am Tische festgekittet.

Während bisher bei der Justirung sowohl, wie bei der Messung des Plattenwinkels weisses Licht in Anwendung kam, um den ungefärbten Mittelstreifen zu erhalten, wurde bei der nun folgenden Beobachtung homogenes und zwar Natriumlicht benutzt.

Wie schon Hr. Lummer in seiner ersten Abhandlung[1]) über Interferenzen an planparallelen Gläsern nachgewiesen hat,

1) O. Lummer, Wied. Ann. 23. p. 49 ff. 1884.

ist es nicht unbedingt nothwendig, paralleles Licht zu verwenden, da auch bei divergentem Lichte nur diejenigen Strahlen zur Interferenz gelangen, die sich in der Brennebene des Fernrohrobjectivs schneiden, d. h. also, die vorher parallel verlaufen sind, während sich die Interferenzen der übrigen Strahlen wegen der ganz verschiedenen in ihnen vorhandenen Gangunterschiede gegenseitig aufheben.

Es wurde jedoch noch einmal bei einem Plattenwinkel von ca. 30° experimentell untersucht, ob die Anwendung parallelen Lichtes etwaigen Einfluss auf die Streifenbreite ausübt. Indessen, wie die beiden folgenden Tabellen zeigen, sind sowohl bei den Lummer'schen Gläsern, als auch bei den Platten von Reinfelder und Hertel die Abweichungen der Werthe von einander und von den berechneten nicht derartig, dass man hieraus schliessen könnte, paralleles Licht liefere genauere Resultate als divergentes. Das parallele Licht wurde in diesem Falle durch Vorsetzen einer Beleuchtungslinse vor die Lichtquelle, natürlich in der richtigen Brennweite, erhalten.

Tabelle 1.
Lummer'sche Platten.

Azimuth	Br. eines Streifens in Bogensec.			Abweichung v. ber. Werthe	
	ber.	beobachtet			
		b. parall. L.	b. diverg. L.	b. parall. L.	b. diverg. L.
+ 30°	2′ 36,5″	2′ 37,0″	2′ 35,4″	+ 0,3%	− 0,7%
+ 60°	1′ 21,01″	1′ 20,70″	1′ 20,64″	− 0,4%	− 0,4%
+ 90°	57,28″	57,10″	57,09″	− 0,3%	− 0,3%
+ 135°	43,85″	43,79″	43,81″	− 0,1%	− 0,1%
+ 180°	40,51″	40,51″	40,61″	0,0%	+ 0,2%

Tabelle 2.
(Platten von R. und H.)

Azimuth	Br. eines Streifens in Bogensec.			Abweichung v. ber. Werthe	
	ber.	beobachtet			
		b. parall. L.	b. diverg. L.	b. parall. L.	b. diverg. L.
+ 45°	2′ 56,2″	2′ 54,1″	2′ 53,5″	− 1,2%	− 1,5%
+ 75°	1′ 50,2″	1′ 50,4″	1′ 50,0″	+ 0,2%	− 0,2%
+ 105°	1′ 24,55″	1′ 24,60″	1′ 24,56″	+ 0,1%	0,0%
+ 135°	1′ 12,61″	1′ 12,63″	1′ 12,75″	0,0%	+ 0,2%
+ 165°	1′ 7,66″	1′ 7,69″	1′ 7,65″	0,0%	0,0%
− 165°	1′ 7,66″	1′ 7,67″	1′ 7,66″	0,0%	0,0%

Auch in der folgenden Untersuchung wurde nur paralleles Licht verwendet. Es geschah dies hauptsächlich aus dem Grunde, damit das Gesichtsfeld des Fernrohrs der bequemeren Messung wegen möglichst gleichmässig erhellt blieb.

Im § 2 wurde bereits bemerkt, dass bei der Bestimmung der Parallelstellung der Platten zwei Methoden zur Verwendung kamen, und zwar wurde bei den Lummer'schen Platten die erste Methode, bei der Untersuchung der Platten von Reinfelder und Hertel die zweite benutzt.

Zu dieser zweiten Bestimmungsweise scheint es mir indessen nöthig, noch einige Bemerkungen anzufügen.

Betrachtet man die zu untersuchende Formel, so ist leicht ersichtlich, dass für grosse Azimuthwinkel die Streifenbreite nur wenig bei einer Aenderung des Winkels variirt, da $\sin\chi$ für grosse Werte von 2χ sehr langsam zunimmt. Am empfindlichsten ist ja selbstverständlich die Aenderung der Streifenbreite in der Nähe des Azimuthwinkels 0^0. Doch hier sind die Streifen sehr breit, und kleine Unregelmässigkeiten der Platten tragen offenbar in dieser Stellung sehr viel dazu bei, die Breite der Streifen zu verändern und die Streifen selbst zu verzerren. Es scheint mir daher am günstigsten, für die Bestimmung der Anfangsstellung einen Azimuthwinkel von ca. 30^0 bis 60^0 zu wählen.

Hatte ich also nach ungefährer Bestimmung der Nullstellung bei einem Azimuthwinkel von etwa 45^0 die Streifen gemessen, so suchte ich die Stellung auf, bei welcher die Streifen nahezu gleich breit waren, und berechnete meist durch Interpolation hieraus die Anfangsstellung.

Der Bestimmung der Parallelstellung folgte nun die Messung der Streifen bei verschiedenen Azimuthwinkeln, und wurde darauf die Abweichung dieser Werthe von den berechneten bestimmt. Die Resultate dieser Messungen werden wir im folgenden Abschnitt noch einer genaueren Betrachtung unterziehen. Hier sei nur noch erwähnt, an welchen Punkten die Beobachtung der Streifen stattgefunden hat. Die Vertheilung dieser Punkte und zwar für die Differenzstreifen zeigt

bei den Lummer'schen Gläsern Fig. 3, bei den anderen Platten Fig. 4.

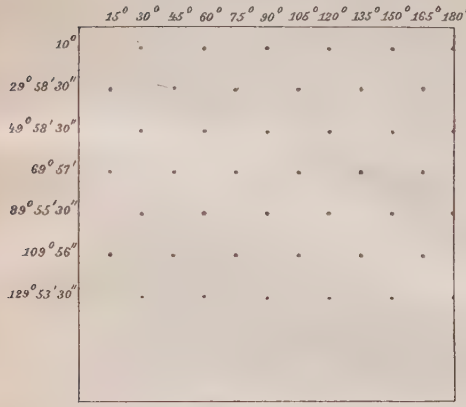

Fig. 3.

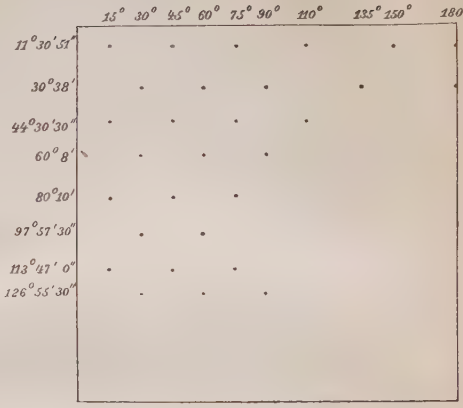

Fig. 4.

In die Quadrate sind in Richtung der horizontalen Axen die Azimuthwinkel, in Richtung der verticalen Axen die Plattenwinkel eingetragen. Die bezeichneten Punkte geben dann die Stellung an, bei welcher die Streifen gemessen wurden.

Bei den Plattenwinkeln über 130° war es nicht mehr möglich, eine genaue Messung vorzunehmen, da hier das Gesichtsfeld, welches die Platten boten, sich bereits sehr verkleinert hatte. Auch war ich bei den Lummer'schen Platten, wie schon oben angedeutet, nicht im Stande, bei Plattenwinkeln von 30° an die Streifen in allen Azimuthstellungen zu messen; der Winkelabstand derselben betrug hier zum Theil weniger als 20″.

Da die Erscheinung genau die gleiche ist für negative wie für positive Azimuthwinkel, so führte ich bei den Lummer'schen Platten fast nirgends, bei den Platten von Reinfelder und Hertel nicht an allen Stellen die Messung für -2χ durch.

Während die Differenzstreifen stets gut sichtbar waren, war es mir nur an wenigen Stellen, und zwar bei den Platten von Reinfelder und Hertel möglich, die Summenstreifen klar zu erkennen.

Hatten dieselben in der symmetrischen Stellung die Form, die die Lummer'sche Theorie ihnen vorschreibt, so sah man nach einer Drehung der Platte sie nur als grade, bei sehr

grossem Azimuth etwas gekrümmte Linien verlaufen. Diese Erscheinung soll uns indessen erst im nächsten Paragraphen beschäftigen. Von Wichtigkeit jedoch ist es, an dieser Stelle zu erörtern, worin wohl hauptsächlich die Schwierigkeit einer genauen Messung der Summenstreifen zu suchen ist. Bei näherer Beobachtung schien sich mir hier folgendes zu ergeben.

Da die Summenstreifen nur bei schwach leuchtender Natriumflamme sichtbar sind, so ist das Gesichtsfeld des Fernrohrs schon an sich sehr dunkel. Nun treten aber bei schwächerem Lichte auch die Streifen der einzelnen Platten scharf hervor, so dass man dann das Gesichtsfeld von wenigstens drei Streifensystemen gekreuzt sieht. Da diese drei Streifensysteme meist deutlich sichtbar sind, so ist es sehr schwierig und nur bei grösserer Breite der sehr schwachen Summenstreifen möglich, auch diese scharf zu erkennen.

Interessant war es indessen stets, bei schwacher Natriumflamme die Streifen zu beobachten, da es hier in Folge des Hervortretens aller drei Systeme deutlich wurde, dass das Differenzstreifensystem bei der Drehung der Platten stets in der Diagonalrichtung der Rhomben verläuft, welche von den Interferenzstreifen der beiden Platten allein gebildet werden. Treten dann noch die Summenstreifen in die Erscheinung, so erkennt man, dass dies die zweiten Diagonalen der rhombischen Figuren sind, und dass die Systeme in ihrer gegenseitigen Lage genau den Anforderungen entsprechen, welche die Theorie an dieselben stellt.

Um auch durch Messung dies zu bestätigen, wurde vor der jedesmaligen Bestimmung der Breite die Drehung der Streifen festgestellt und nach einer Beobachtungsreihe von 10 Messungen wiederholt. Die Ausführung geschah auf folgende Weise. Nach einander wurden die beiden Fäden des Fadenkreuzes mit einem Interferenzstreifen möglichst zur Coincidenz gebracht und die Einstellung des Zeigers F (Fig. II) am Theilkreise D abgelesen. Bei der Wahl eines anderen Azimuthwinkels wiederholte sich die Ablesung in derselben Weise. Aus der Differenz dieser und der ersten Ablesung ergab sich unmittelbar der Drehungswinkel, den die Streifen bei der Aenderung des Azimuths durchlaufen hatten. Natürlicherweise

Ta-

Plattenwinkel		Azimuth-				
		15°	30°	45°	60°	75°
10°	ber.	—	11′ 23,9″	—	6′ 13,1″	—
	beob.	—	10′ 50,1″	—	6′ 8,8″	—
	Fehler	—	− 4,9%	—	− 1,2%	—
	ber.	—	14′ 5,8″	—	6′ 51,7″	—
	beob.	—	13′ 57,2″	—	6′ 43,0″	—
	Fehler	—	− 1,0%	—	− 2,1%	—
29° 58′ 30″	ber.	8′ 34,3″	—	2′ 55,4″	—	1′ 50,3″
	beob.	8′ 23,5″	—	2′ 55,5″	—	1′ 50,3″
	Fehler	− 2,1%	—	+ 0,1%	—	0,0%
	ber.	8′ 34,3″	—	2′ 55,4″	—	1′ 50,3″
	beob.	8′ 49,6″	—	2′ 55,9″	—	1′ 50,2″
	Fehler	+ 3,0%	—	+ 0,3%	—	− 0,1%
49′ 58′ 30″	ber.	—	2′ 46,8″	—	1′ 25,86″	—
	beob.	—	2′ 45,9″	—	1′ 25,73″	—
	Fehler	—	− 0,6%	—	− 0,1%	—
	ber.	—	2′ 45,2″	—	1′ 25,00″	—
	beob.	—	2′ 45,4″	—	1′ 24,88″	—
	Fehler	—	+ 0,1%	—	− 0,1%	—
69° 57′	ber.	4′ 17,3″	—	1′ 28,11″	—	55,18″
	beob.	4′ 21,4″	—	1′ 28,30″	—	55,15″
	Fehler	+ 1,6%	—	+ 0,2%	—	− 0,1%
	ber.	4′ 17,3″	—	1′ 28,14″	—	—
	beob.	4′ 16,0″	—	1′ 28,33″	—	—
	Fehler	− 0,5%	—	+ 0,2%	—	—
89° 55′ 30″	ber.	—	1′ 56,6″	—	1′ 0,60″	—
	beob.	—	1′ 56,7″	—	1′ 0,60″	—
	Fehler	—	+ 0,1%	—	0,0%	—
	ber.	—	1′ 56,6″	—	1′ 0,56″	—
	beob.	—	1′ 57,2″	—	1′ 0,57″	—
	Fehler	—	+ 0,5%	—	0,0%	—
109° 56′	ber.	3′ 54,3″	—	1′ 20,31″	—	50,24″
	beob.	3′ 53,9″	—	1′ 20,47″	—	50,31″
	Fehler	− 0,2%	—	+ 0,2%	—	+ 0,1%
	ber.	3′ 54,3″	—	1′ 20,20″	—	—
	beob.	3′ 56,2″	—	1′ 20,34″	—	—
	Fehler	+ 0,8%	—	+ 0,2%	—	—
129° 53′ 30″	ber.	—	2′ 21,5″	—	1′ 12,29″	—
	beob.	—	2′ 21,2″	—	1′ 12,50″	—
	Fehler	—	− 0,2%	—	+ 0,3%	—
	ber.	—	2′ 14,9″	—	—	—
	beob.	—	2′ 14,6″	—	—	—
	Fehler	—	− 0,2%	—	—	—

belle 3.

Winkel

90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
4′ 29,2″	—	3′ 42,4″	—	3′ 21,1″	—	3′ 15,7″
4′ 33,6″	—	3′ 47,5″	—	3′ 24,3″	—	3′ 17,5″
+ 1,6%	—	+ 2,3%	—	+ 1,6%	—	+ 0,9%
4′ 44,9″	—	3′ 49,8″	—	3′ 24,2″	—	—
4′ 38,8″	—	3′ 47,2″	—	3′ 24,2″	—	—
− 2,1%	—	− 1,1%	—	0,0%	—	—
—	1′ 24,62″	—	1′ 12,67″	—	1′ 7,71″	—
—	1′ 24,66″	—	1′ 12,63″	—	1′ 7,69″	—
—	0,0%	—	− 0,1%	—	0,0%	—
—	1′ 24,62″	—	1′ 12,67″	—	1′ 7,71″	—
—	1′ 24,58″	—	1′ 12,61″	—	1′ 7,72″	—
—	− 0,1%	—	− 0,1%	—	0,0%	—
1′ 0,58″	—	49,41″	—	44,26″	—	42,72″
1′ 0,69″	—	49,40″	—	44,28″	—	42,75″
+ 0,2%	—	0,0%	—	0,0%	—	+ 0,1%
1′ 0,23″	—	49,24″	—	44,19″	—	—
1′ 0,23″	—	49,34″	—	44,20″	—	—
0,0%	—	+ 0,2%	—	0,0%	—	—
—	42,34″	—	36,36″	—	33,88″	—
—	42,36″	—	36,50″	—	34,09″	—
—	+ 0,1%	—	+ 0,4%	—	+ 0,6%	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
42,69″	—	34,86″	—	31,25″	—	30,19″
42,80″	—	34,95″	—	31,34″	—	30,27″
+ 0,3%	—	+ 0,3%	—	+ 0,3%	—	+ 0,3%
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	38,55″	—	33,10″	—	30,85″	—
—	38,67″	—	33,29″	—	31,08″	—
—	+ 0,3%	—	+ 0,6%	—	+ 0,8%	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
50,88″	—	41,43″	—	37,03″	—	35,75″
51,13″	—	41,49″	—	37,19″	—	35,59″
+ 0,5%	—	+ 0,1%	—	+ 0,4%	—	− 0,4%
—	—	—	—	36,99″	—	—
—	—	—	—	37,11″	—	—
—	—	—	—	+ 0,3%	—	—

Tabelle 4.

Plattenwinkel		Azimuthwinkel									
		15°	30°	45°	60°	75°	90°	110°	135°	150°	180°
11° 30′ 51″	ber.	13′ 22,5″	—	4′ 33,7″	—	2′ 52,1″	—	2′ 7,9″	—	1′ 48,4″	1′ 44,7″
	beob.	13′ 33,7″	—	4′ 34,2″	—	2′ 52,8″	—	2′ 7,6″	—	1′ 48,5″	1′ 44,8″
	Fehler	+1,4%	—	+0,2%	—	+0,4%	—	−0,2%	—	+0,1%	+0,1%
30° 38′	ber.	—	2′ 36,5″	—	1′ 21,01″	—	57,28″	—	43,85″	—	40,51″
	beob.	—	2′ 37,0″	—	1′ 20,70″	—	57,10″	—	43,79″	—	40,51″
	Fehler	—	+0,3%	—	−0,4%	—	−0,3%	—	−0,1%	—	0,0%
44° 30′ 30″	ber.	3′ 41,9″	—	1′ 15,68″	—	47,58″	—	35,36″	—	—	—
	beob.	3′ 43,7″	—	1′ 15,73″	—	47,52″	—	35,29″	—	—	—
	Fehler	+0,8%	—	+0,1%	—	−0,1%	—	−0,2%	—	—	—
60° 8′	ber.	—	1′ 28,22″	—	45,66″	—	32,29″	—	—	—	—
	beob.	—	1′ 28,08″	—	45,49″	—	32,22″	—	—	—	—
	Fehler	—	−0,2%	—	−0,4%	—	−0,2%	—	—	—	—
80° 10′	ber.	2′ 27,8″	—	50,41″	—	31,69″	—	—	—	—	—
	beob.	2′ 27,6″	—	50,27″	—	31,61″	—	—	—	—	—
	Fehler	−0,1%	—	−0,3%	—	−0,3%	—	—	—	—	—
97° 57′ 30″	ber.	—	1′ 11,11″	—	36,81″	—	—	—	—	—	—
	beob.	—	1′ 11,05″	—	36,74″	—	—	—	—	—	—
	Fehler	—	−0,1%	—	−0,2%	—	—	—	—	—	—
113° 47′	ber.	2′ 26,8″	—	50,07″	—	31,47″	—	—	—	—	—
	beob.	2′ 26,6″	—	49,64″	—	31,42″	—	—	—	—	—
	Fehler	−0,1%	—	−0,9%	—	−0,2%	—	—	—	—	—
126° 55′ 30″	ber.	—	1′ 22,14″	—	42,52″	—	30,07″	—	—	—	21,26″
	beob.	—	1′ 21,34″	—	42,20″	—	29,97″	—	—	—	21,18″
	Fehler	–	−1,0%	—	−0,8%	—	−0.3%	—	—	—	−0,4%

konnten auch hier nur die Differenzstreifen berücksichtigt werden.

§ 5. Die Beobachtungsresultate.

Aus den nach dem eben beschriebenen Gange angestellten Beobachtungen wurden folgende Resultate gewonnen.

Es ergaben sich zunächst für die Differenzstreifen die Werthe, welche in der Tabelle 3 und 4 angegeben sind. Zur Erläuterung der beiden Tabellen diene folgendes.

Tabelle 3 gibt die Werthe für die Platten von Reinfelder und Hertel. Bei jedem Plattenwinkel steht in der ersten Kolonne der Horizontalreihen der aus der Gleichung berechnete Werth und zwar für positive Azimuthwinkel. Dann folgt der beobachtete Werth und darauf die in Procenten des berechneten Werthes ausgedrückte Abweichung. In den noch folgenden drei Zeilen stehen dann die Werthe für negative Azimuthwinkel. Die angegebene Breite bezieht sich stets auf einen Streifen, während bei der Untersuchung, um die Beobachtungsfehler möglichst zu vermindern, immer 20—30 Streifen und nur bei sehr breiten etwa 4—10 beobachtet wurden, meist so viel, als mit der Mikrometerschraube im Gesichtsfelde des Fernrohrs gemessen werden konnten.

Nicht an allen Stellen der Tabelle sind die berechneten Werthe für positive und negative Azimuthwinkel die gleichen. Dies hat darin seinen Grund, dass bei der Berechnung der Anfangsstellung dieselbe oft erst nach einer Beobachtungsreihe aus den gewonnenen Werthen durch Interpolation gefunden wurde, so dass dann die Grösse des positiven und negativen Azimuths nicht mehr genau gleich blieb. Trotz dieser Ungleichheit habe ich es vorgezogen, in der Tabelle die abgerundeten Azimuthwinkel über die Kolonnen zu setzen, um die Tabelle nicht unübersichtlich zu gestalten, zumal die Abweichungen des angegebenen Winkels von dem wirklich gewählten meist nur um Bruchtheile eines Grades unterschieden sind.

Was die Genauigkeit der angegebenen Zahlen betrifft, so haben die an einzelnen Stellen angefügten Hundertstel-Secunden wenig Bedeutung, da an der Trommel des Fernrohrs nur etwa die Zehntel-Secunden noch genau geschätzt werden

konnten, während eine directe Ablesung von nur $1^1/_2$ Secunden möglich war.

Es mag auffällig erscheinen, dass die Abweichung der Beobachtung von der Berechnung bei dem Plattenwinkel von 10^0 1 Proc. meist bei weitem übersteigt, während sie bei fast sämmtlichen übrigen Werthen den Fehler 1 Proc. nicht erreicht. Es kann dies indessen nicht wunderbar sein, wenn man bedenkt, dass die Breite eines Streifens bei 10^0 Plattenwinkel und 180^0 Azimuth bereits über 3′ beträgt, die genaue Einstellung des Fadens bei dieser Streifenbreite also mit viel grösserer Unsicherheit erfolgen kann, zumal die Streifen bei diesem Winkelabstand nicht mehr so scharf begrenzt sind wie in anderen Stellungen. Es kommt ferner hinzu, dass bei sehr kleinem Plattenwinkel jede Unregelmässigkeit der Platten bei weitem mehr in's Gewicht fällt und dazu beiträgt, kleine Verzerrungen der Streifen eintreten zu lassen.

Betrachtet man übrigens die Vertheilung der positiven und negativen Abweichungen, so ist dieselbe eine ziemlich gleichmässige, und ergibt auch das arithmetische Mittel aller Fehler nur eine Abweichung von + 0,04 Proc.

Weniger günstig gestaltet sich das Resultat bei der zweiten Tabelle. Diese enthält die Werthe für die Lummer'schen Platten. Auf den ersten Blick fällt hier ein Ueberwiegen der negativen Fehler auf. Doch scheint mir dies von geringem Belang und zwar aus folgenden Gründen.

Schon im § 3 wurde erwähnt, dass die Lummer'schen Gläser eine grössere prismatische Abweichung zeigten als die anderen Platten. Dies wurde auch auf folgende Weise klar bestätigt.

Bei der Messung der Streifen trat zuerst bei dem Plattenwinkel von $11^1/_2{}^0$ eine recht grosse Abweichung auf, und obgleich ich durch mehrmalige Bestimmung der Anfangsstellung aus der Messung bei verschiedenen Azimuthwinkeln die etwa durch fehlerhafte Justirung der Parallelstellung entstehende Abweichung zu beseitigen versuchte, blieb dennoch ein ganz erheblicher Fehler und zwar an allen Stellen in positivem Sinne übrig. Nun legte ich die Platte am Goniometer in ihrer Fassung um, und zwar so, dass sie um 90^0 gegen ihre erste Lage gedreht war. Als ich nun die Streifenbreite bei dem-

selben Plattenwinkel wie vorher bestimmte, ergab sich das Resultat, dass jetzt die Abweichung eine genau entgegengesetzte war. Dies scheint mir zur Evidenz zu beweisen, dass es sich hier um eine prismatische Abweichung der Glasplatte handelt, zumal sich bei den Platten von Reinfelder und und Hertel, die auch vorher als gut planparallel erkannt waren, ein gleiches Ergebniss nicht zeigte. Bei den Lummer'schen Gläsern mag ausserdem noch hinzukommen, dass die Bestimmung des Brechungsexponenten nur mit dem Refractometer von Abbe möglich war und nicht nach der genauesten Methode der minimalen Ablenkung.

In die Tabelle sind übrigens beim Plattenwinkel $11^1/_2{}^0$ die Mittelwerthe aus den zwei Beobachtungsreihen eingesetzt, die allerdings noch eine Abweichung in demselben Sinne zeigen, aber doch so gering, dass man hieraus wohl kaum eine Abweichung von der Theorie constatiren könnte.

Noch zu erwähnen bleibt, dass beim Polarisationswinkel das Licht in der Stellung von 90° Azimuthwinkel so schwach wird, dass ein Erkennen der Interferenzstreifen nicht mehr möglich ist.

Die Resultate, welche erhalten wurden bei der Messung des Drehungswinkel, liegen in den beiden folgenden Tabellen vor.

Tabelle 5.

(Platten von R. und H.)

Platten-winkel	Berechnete Drehungswinkel									
	v. 180° an 15°	v. 165° an 15°	v. 180° an 30°	v. 165° an 30°	v. 180° an 45°	v. 165° an 45°	v. 180° an 60°	v. 165° an 60°	v. 180° an 75°	v. 165° an 75°
10°	14,9°	—	30,1°	—	45,2°	—	60,4°	—	76,8°	—
29° 58′ 30″	—	15,0°	—	30,0°	—	45,0°	—	60,1°	—	76,4°
49° 58′ 30″	15,1°	—	30,1°	—	45,0°	—	59,8°	—	75,2°	—
69° 57′	—	15,0°	—	30,0°	—	44,9°	—	59,6°	—	74,7°
89° 55′ 30″	15,0°	—	30,0°	—	44,9°	—	59,8°	—	74,8°	—
109° 56′	—	15,0°	—	30,0°	—	45,0°	—	59,8°	—	74,3°
129° 53′ 30″	14,9°	—	30,1°	—	44,9°	—	60,0°	—	74,7°	—
Mittel:	15,0°	15,0°	30,1°	30,0°	45,0°	45,0°	60,0°	59,8°	75,4°	75,1°

Tabelle 6.

(Lummer'sche Platten.)

Platten-winkel	Berechnete Drehungswinkel von 180° an.									
	15°	22,5°	32,5°	35°	45°	52,5°	60°	67,5°	75°	82,5°
11° 30′ 51″	14,9°	—	—	34,5°	—	51,9°	—	67,1°	75,0°	82,7°
30° 38′	—	22,3°	—	—	44,5°	—	59,3°	—	74,7°	—
44° 30′ 30″	14,8°	—	32,4°	—	—	52,4°	—	67,5°	—	82,8°
60° 8′ 0″	—	—	—	—	44,9°	—	60,1°	—	75,0°	—
80° 10′	—	—	—	—	—	—	—	67,6°	—	82,9°
97° 57′ 30″	—	—	—	—	—	—	—	—	75,2°	—
113° 47′	—	—	—	—	—	—	—	67,8°	—	82,4°
126° 55′ 30″	—	—	—	—	44,9°	—	60,1°	—	76,4°	—
Mittel:	14,85°	22,3°	32,4°	34,5°	44,8°	52,15°	59,8°	67,5°	75,3°	82,7°

Der Drehungswinkel wurde vom Azimuthwinkel 180° bezugsweise 165° an gerechnet. Da die Streifen stets diagonal zu den Streifen der einzelnen Platten verlaufen und diese rhombische Figuren bilden, so muss der Drehungswinkel der Streifen stets gleich der Hälfte des Drehungswinkels der Platten sein. Die am Kopfe jeder Verticalkolonne bezeichneten Werthe sind die nach dieser Betrachtung sich ergebenden Drehungswinkel der Streifen. Da dieselben vom Azimuthwinkel 180° bezugsweise 165° an gerechnet sind, so entspricht also dem Drehungswinkel 75° ein Azimuthwinkel von 30° bezugsweise 15°. Man sieht auch hier wiederum, dass bei kleinen Azimuthwinkeln die grössten Abweichungen stattfinden. Da die Streifen in diesen Stellungen sehr breit sind, so ist natürlich eine genaue Coincidenz des Fadens mit einem Streifen sehr schwer zu erhalten.

Es bleibt noch übrig, die Summenstreifen einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Wie schon oben bemerkt, war es nur bei den Platten von Reinfelder und Hertel möglich, dieselben deutlich zu erhalten, und habe ich daher nur an wenigen Punkten eine Messung vornehmen können.

Nach der Lummer'schen Theorie bilden die Summenstreifen in der symmetrischen Stellung gewisse Curven. Dreht man indessen die Platte am Goniometer um den Centralstrahl als Axe, so verschwinden allmählich die Mittelpunkte der Curven, und die Streifen verflachen sich, bis sie schliesslich im Fernrohre als gerade Linien erscheinen. In diesem Zu-

stande kann man dann mit vollem Rechte die Theorie von Hrn. Blasius auf dieselben anwenden, und die angestellten Messungen ergaben auch, wie die folgende Tabelle zeigt, eine gute Uebereinstimmung der beobachteten und berechneten Werthe.

Tabelle 7.

Plattenwinkel	Azimuth	Breite eines Streifens in Bogensec.		Abweichung
		berechnet	beobachtet	
69° 57′	+ 135°	1′ 27,77″	1′ 27,37″	− 0,5%
89° 55′ 30″	+ 150°	1′ 56,6″	1′ 56,8″	+ 0,2%
109° 56′	+ 165°	3′ 54,3″	3′ 54,1″	− 0,1%
129° 53′ 30″	+ 150°	2′ 14,9″	2′ 15,4″	+ 0,4%
—	− 150°	2′ 19,1″	2′ 20,2″	+ 0,8%

In unmittelbarer Nähe der symmetrischen Stellung ist indessen die Gleichung von Hrn. Blasius nicht benutzbar, da hier die Streifen noch eine recht erhebliche Krümmung aufweisen.

Ob die Art dieser Krümmung und die Verflachung der Curven sich aus der aufgestellten Theorie ableiten lassen, wollen wir im Folgenden noch einer kurzen Erörterung unterziehen.

Führt man in Fig. 2 eine Drehung der Platte II um die Axe BE aus, so wird es sich bei der Untersuchung im wesentlichen um die Frage handeln, in welcher Richtung man nach dieser Drehung mit dem Auge beobachten muss, um wieder die Mitte der Erscheinung zu erhalten. Da diese aber in der Richtung des symmetrischen Strahles entsteht, so ist es erforderlich, dessen Verschiebung zu bestimmen. Wird die Drehung derart ausgeführt, dass die Platte von der Vorderseite betrachtet, sich in gleichem Sinne wie der Zeiger einer Uhr dreht, so findet die Drehung der Schnittkante der Platten vom Auge D (Fig. 2) aus gesehen in entgegengesetztem Sinne statt. Wenn man jetzt die Lage des symmetrischen Strahles feststellen will, so wird man sich zunächst die Einfallsebene desselben construiren müssen. Da diese aber auf der Schnittkante der Platten senkrecht steht, während sie zugleich durch das Auge des Beobachters gelegt werden muss, so wird sie,

falls die Zeichenebene horizontal liegt, nach erfolgter Drehung gegen ihre erste Lage einen gewissen Winkel nach oben bilden, dessen Scheitel im Auge D gelegen ist. Die gleiche Drehung muss demnach der symmetrische Strahl ausgeführt haben. Wir werden also jetzt das Centrum der Erscheinung höher erblicken als vorher, und, wenn wir die Curven als Ellipsen annehmen, so wird der Krümmungsmittelpunkt höher als die optische Axe des Auges beziehungsweise Fernrohrs liegen. Demgemäss werden auch die Krümmungen der Curven verlaufen. Dass dies in der That sich derart darstellt, wurde durch die Beobachtung vollständig erwiesen.

Schluss.

Die vorstehende Darstellung dürfte für die Gültigkeit der aufgestellten Formeln in ausreichender Weise den Beweis erbracht haben.

Als wesentlichstes Ergebniss der Untersuchung ist wohl hervorzuheben, dass nicht nur in einer bevorzugten Stellung der Platten die Interferenzstreifen beobachtet werden können, sondern dass dieselben in jedem beliebigen Azimuthe sichtbar sind, und dass zugleich ihre Breite in einfacher Gleichung von den Bestimmungsstücken dieser Stellung abhängig ist.

Berlin, Physikalisches Institut der Universität.

VITA.

Natus sum Ericus Rudolphus Schmidt Berolini Id. Jul. anno h. s. LXIX patre Rudolpho, matre Clara de gente Anton.

Fidei addictus sum evangelicae.

Litterarum elementis Berolini in gymnasio Ascaniensi imbutus et maturitatis testimonio instructus autumno anni h. s. LXXXVII universitatem Berolinensem adii, ut studiis et mathematicis et quae ad rerum naturam spectant operam darem.

Unde vere anni h. s. LXXXVIII numero civium universitatis Gryphiswaldensis adscriptus ibique per sex menses versatus sum.

Postremo Berolini studiis mathematicis et physicis operam dare perrexi. Quo tempore et lectionibus adfui clarissimorum virorum et in laboratorio physico instruente Kundt observationibus operam dedi.

Per novem semestria docuerunt me viri doctissimi in universitate Gryphiswaldensi:

Deecke, Minnigerode, Oberbeck, Rehmke;

in universitate Berolinensi:

Arons, Bastian, de Bezold, du Bois-Reymond, Dames, Dilthey, Fuchs, Gabriel, de Gižycki, Glan, de Helmholtz, Hensel, Hettner, Knoblauch, Kronecker, Kundt, Neesen, Pernet, Planck, Preyer, de Richthofen, Schwendener, Sell, de Treitschke, Volkens, Weinstein, Zeller.

Quibus omnibus viris optime de me meritis, imprimis autem viro illustrissimo, qui me liberalissime adiuvit, Kundt gratias ago quam maximas.

THESEN.

1) Es wäre wünschenswerth, dass auch bei den Chemikern die physikalische Theorie der Lösungen Anerkennung fände.

2) Das Studium der Physik verlangt nach dem heutigen Stande der Wissenschaft immer mehr eine genauere Kenntniss der Chemie.

3) Der naturwissenschaftliche Unterricht ist eins der hervorragendsten Mittel zur Geistesbildung.

Fig. I a.

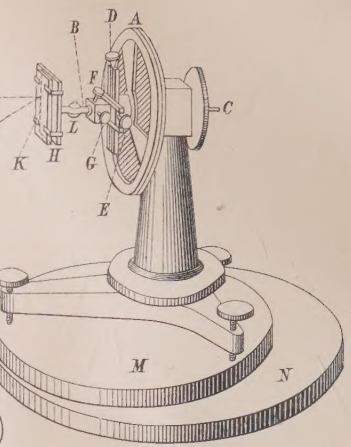

Fig. I b.

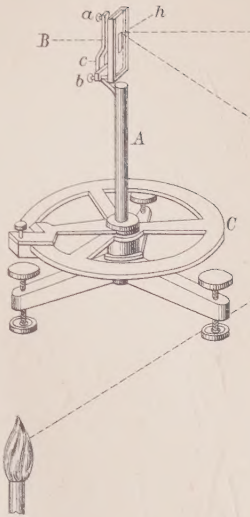

Fig. I c.

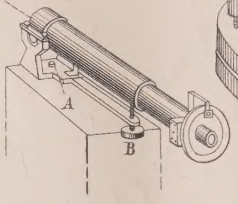
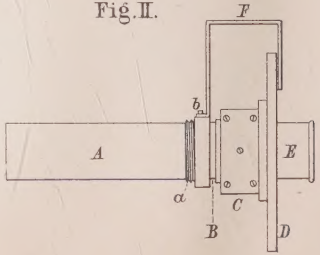
Fig. II.